

イメージ管の解像度に関する研究

著者	長谷川 伸
号	21
発行年	1966
URL	http://hdl.handle.net/10097/10970

氏 名 (本 籍)	長 谷 川	伸 (神 奈 川 県)
学 位 の 種 類	工 学	博 士
学 位 記 番 号	工 第	2 1 号
学位授与年月日	昭和 4 1 年 6 月 1 日	
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当	
最 終 学 歴	昭和 2 9 年 3 月 東京大学工学部応用物理学科卒業	
学 位 論 文 題 目	イメージ管の解像度に関する研究	
論 文 審 査 委 員	(主 査) 教授 和田 正 信 教授 上 領 香 三 教授 高 橋 正 教授 柴 甲 幸 男	

論 文 内 容 要 旨

近年各種のイメージ管が開発実用化され、その性質に関する研究報告も出されているが、イメージ管の解像度の本質的な性質、すなわち出力画像における微細部表現能力については重要な特性であるにもかかわらず、これまでくわしいことは知られていない。本論文ではイメージ管の出力画像の鮮鋭度、出力像に重畳する明かるさのゆらぎの性質を管球構成要素の性質に立ち至つて研究し、解像度の性質を解明した結果が述べられている。以下章ごとに要旨を記す。

第 1 章 緒 論

本研究に対する沿革、研究目的、範囲、手法などが明確にされている。

イメージ管は図1に示すように肉眼で対象物を見るとき、空間的な像信号に対して前置増幅器的な機能を果たすから、像信号の微細部に対する管球の伝送特性を知ることはきわめて重要である。従来この性質はどの程度こまかい縞パターンを見分け得るかという“限界解像度”で表わしているが、この値は管球の特性のほか測定条件や測定者の主観などの総合として定まるもので、解像度の本質を表わす量としては不適当である。図1には管球にスリットの像を入射したときの入出力の光強度分布を示してある。出力像においては光量分布が空間的に広がると同時に、明

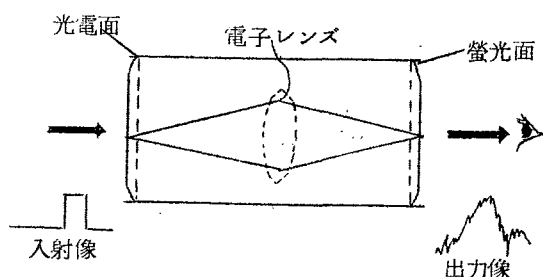


図1 イメージ管の構造、およびこれにスリットの像を入力として与えたときの出力像信号の劣化

かるさの空間的・時間的なゆらぎが重畳する。さらにイメージ管は光電面、電子レンズ、螢光面などが直列につながれたもので、各段ごとにこのような画質低下が生ずるため、それぞれの要素の特性を知ること、および要素の特性と管球全体の特性との関連を知ることが必要である。

画質に関する上記のような問題はすでに他の光学装置、テレビジョンなどでもとり上げられ、系の性質を通信模型になぞらえ、像信号の空間的な周波数成分に対する系の伝送特性をレスポンス関数、画像信号に重畳する光量のゆらぎを光学雑音で表わして研究が行なわれている。しかし電子管内の要素の性質に関連したくわしい研究はテレビジョン用管球も含めほとんど行なわれていない。

本論文では手法として上記のレスポンス関数、光学雑音特性を用い、管球の像表現能力を要素の性質との関連において研究した結果が述べられる。この研究は4種類のイメージ管およびテレビ信号発生用電子管モノスコープについて行なわれている。

第2章 イメージ管の基本構造と一般的性質

図1に断面構造を示すような1段形のイメージ管について既知の構造原理、基本的な性質が簡単に述べられ、種類、用途についても触れられている。

第3章 レスポンス関数

像信号の伝送特性を示すレスポンス関数について論ぜられている。

レスポンス関数は通信系における周波数特性に対応するもので、像信号の空間的な周波数成分に対する伝送特性を示す。この章では基本式および測定方法が既知の報告からまとめられたもの、第5章に示されるように管球要素のレスポンス関数がすべてGauss形関数であることを利用して管球要素の特性と全体の特性との間の関係式が著者より導かれている。さらに一般の限界解像度試験に用いられる矩形波動的強度変化するテストチャートの像をGauss形レスポンス関数の系で撮像したときの出力光信号分布、入力像信号の空間周波数成分の伝送率などが計算されている。なおレスポンス関数に関してこのような解析的な取り扱いができるのは、それがGauss形関数であるからで、一般のテレビ系や光学系ではこのような扱いはされていない。

第4章 出力光のゆらぎと識別能力

イメージ管の出力画像に重畳する明かるさのゆらぎ、すなわち光学雑音について筆者の計算式が示され、さらに出力像信号対光学雑音比が導かれ、検知限に関する計算検討結果が述べられている。

光学雑音の原因としては、(i)入射光子、光電子等信号のキャリアが量子であり、散射効果を伴うため生ずる出力像の明かるさゆらぎ、(ii)光電面から放出される熱電子により付加されるゆらぎ、(iii)螢光模が粒子を塗布して作られ粒状構造となつているため画面に“あれ”を生ずるもの、の3種がある。(i)(ii)は共に時間的、空間的に明かるさのちらつきを生ずるもので広い意味では合わせて量子雑音と呼ばれる、(iii)は時間的に変化しない画面のざらつきを与え粒状雑音と呼ばれている。これらの光学雑音については絵素から版の残像時間に発生する量子数のゆらぎを計算することにより求められている。入力端に近い部分で発生した雑音は後段のレスポンス関数により空間周波数帯域の制限を受け、出力側での光学雑音が減少することも考慮されている。

次にイメージ管に矩形波動的強度変化をする入力像を与えたときの出力像信号対雑音比の式が導かれ、検討が加えられ次のことが推論されている。

- (i) 管球の増倍度が高く入力光レベルの低い場合は出力光学雑音は管球の比較的前段で発生する量子雑音が占められるため、レスポンス関数が高域まで伸びすぎていると出力光学雑音が大きく、反対にレスポンス関数の遮断空間周波数があまり小さいと出力信号成分が減少するため、出力信号対光学雑音比を最高にする適当なレスポンス関数が存在する。
- (ii) 管球の増倍度が比較的低く、入力光レベルの高い場合には出力光学雑音は螢光模の粒状雑音が占められ、出力像信号対光学雑音比はレスポンス関数が高域まで広がっているほど大きい。

第 5 章 イメージ管構成要素の画質に関する性質

本研究に使用した 4 種のイメージ管およびモノスコープを構成する管球要素合計 8 種類についてレスポンス関数および光学雑音に関する性質の測定または検討結果が述べられている。

レスポンス関数に関する性質としては、光電面および管軸方向一様磁界による電子レンズの性質が既知の資料から計算し得るほかはすべて未知で、それぞれの要素の試料に幅のせまい線状の入力を与えたときの出力の空間的な分布が実験的に求められた。電子銃については焦点位置のビームスポットの電子分布が求められた。実測された出力分布はすべて Gauss 分布で、したがってこれをフーリエ変換して求めたレスポンス関数も Gauss 形関数である。

要素の光学雑音に関する性質としては各段の量子効率、光電面の熱電子放出等が問題となり、筆者の用いた試料について数値が実測されている。螢光面の粒状雑音については従来未知でゆらぎの大きさ、空間周波数スペクトラムなどが測定された。

第 6 章 各種管球の解像度

第 3 章、第 4 章の理論と、要素に関する第 5 章の測定結果から要素の性質の合成として管球の性質が導かれ、これと管球のレスポンス関数、限界解像度などを直接測定した結果が照合された。まずイメージ管に先立ち、モノスコープは、(i) 出力が電氣的に測定可能、(ii) 標準以外の動作状態ではレスポンス関数が Gauss 形からはずれる等の特長をもつので前述のレスポンス関数の理論の 1 つの例証として研究され、次に 4 種のイメージ管について研究が行なわれた。

モノスコープは標準動作を含め数種の動作状態における要素の性質と出力画像が対比され、要素から計算で求めたレスポンス関数と、出力信号変調度から求めたものが一致することが示され、製造工場で「解像度は悪いが画調は良い」、「共に悪い」という不良品を生ずる原因についても考慮されている。

イメージ管では輝度増倍管、医用の X 線螢光増倍管、リニアアクセラレータ用の高エネルギー X 線用イメージ管、超高感度の多段形イメージ管の 4 種について行なった。

レスポンス関数については、全管種について各要素と管球全体の関数形が図示され、全体の解像度向上の隘路となつている要素が明確にされた。X 線用の 2 管種については X 線用ターゲットが特に隘路となつているが、他の管では出力螢光膜、電子レンズなどがほぼ同じ値をもつ。輝度増倍管、X 線螢光増倍管では管球のレスポンス関数が直接測定され、要素からの計算値と一致することが確かめられた。

出力光学雑音については管球の各段で発生する雑音がすべて計算され、輝度増倍管では出力螢

光膜の粒状、X線用の2種ではX線ターゲットの吸収量子数のゆらぎ、多段形管では光電流の散
射雑音に起因する光学雑音が支配的であることが認められた。

以上の結果から平行縞テストチャートを入射したときの出力像信号対光学雑音比 S/N が計算
され $S/N > 5$ として限界解像度が求められ、輝度増倍管で400～450本、X線蛍光増倍管
で16本/cmと計算されて実測値と一致した。高エネルギーX線用管では識別限度を $S/N >$
5とし、通常の非破壊検査で用いられる定義の判別能曲線を計算し、実測値と照合して大体一致
した。(最良値2.5%)。多段形イメージ管では第4章の計算に従えば与えるパターンのあらさ
に対して最適のレスポンス関数が存在するはずで、計算値と2種の実験結果が照合され、一致す
ることが認められた。

第 7 章 結 論

結論として、(i) イメージ管の識別能力は出力像信号対光学雑音比で定まり、これはレスポンス
関数と光学雑音特性から求められる。(ii) 管球としての特性は管球を構成する要素の特性の組合わ
せとして定まり、その間の関係が理論的に、また各要素の特性が実験的に求められたことがあげ
られている。さらにこの研究の成果としては以上の学術的な意味のほかに工業的見地から管球お
よび応用機器の設計資料が与えられたことがあげられ、またこのような研究は他の映像電子機器
にもおしひろめられるべきであると主張している。

論文審査の要旨

赤外線またはX線による不可視像を可視像に変換する真空管をイメージ管という。このイメージ管は波長変換だけでなく、明るさの増幅も可能であるので、肉眼の前置増幅器として有用なものである。理工学、医学さらに産業界でかなりひろく使用されている。

このイメージ管は二次元の画像を扱うことから、その性能上解像力が重要であるが、これについて現在あまり研究されていない。

著者はこの点に注目し、レスポンス関数と光学雑音特性を考慮して、イメージ管の構成素子である光電面、電子レンズおよび螢光面についてそれぞれ詳細に考察し、これを統一して論じさらに実験によつて計算結果を確かめ、イメージ管の設計およびその取扱の指針を確立した。本論文はこれらの結果をとりまとめたもので、全文7章からなる。

第1章は緒論である。第2章はイメージ管の基本構造と一般的性質を説明したもので、これらを通じて、イメージ管の表現能力を論じるには従来の限界解像度という考え方は不適当であるとして、著者の研究の手法を明らかにしている。

第3章ではイメージ管の出力分布をガウス分布と考へてレスポンス関数を誘導している。この仮定は著者自ら実験的に確認している（第5章）ところである。さらにレスポンス関数を数値計算し、応答特性を明らかにしている。

第4章では光電子放出と熱電子放出のゆらぎによる量子雑音と螢光面の粒状性から生じる画面のあれによる粒状雑音とについて考察している。

入力レベルの低いときは信号対雑音比が最大になるレスポンス関数の広がり存在すること、入力レベルの高いときは大部分が螢光面の粒状雑音で抑えられることを明らかにしていることは重要な知見である。

第5章では4種のイメージ管およびモノスコープを構成する管球の構成要素8種類についてレスポンス関数および光学雑音についての測定および検討の結果が示されている。ここで前述の出力分布がガウス分布になることが明快に示されているとともに螢光面の粒状雑音とその製作条件の関係が明らかにされているが、これらは重要な知見である。

第6章は第3、4章の解析と第5章の実験結果を組合せて、モノスコープ、輝度増倍管、X線螢光増倍管、高エネルギーX線用イメージ管および多段イメージ管につき、それらの性能を定量的に論じている。これらはそれぞれこの種の電子管の今後の発展に重要な指針を与えるものであり、約20万倍の光増幅を可能にした多段イメージ管の開発の成功は本研究の大きな成果の1つ

である。

以上要するに本論文は、従来取扱いを困難視されていたイメージ管の特性を解像力を含めて統一的定量的に扱ったもので、精密な解析と実験的検証は電子工学のみならずテレビジョン工学等関連する分野に貢献するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。